

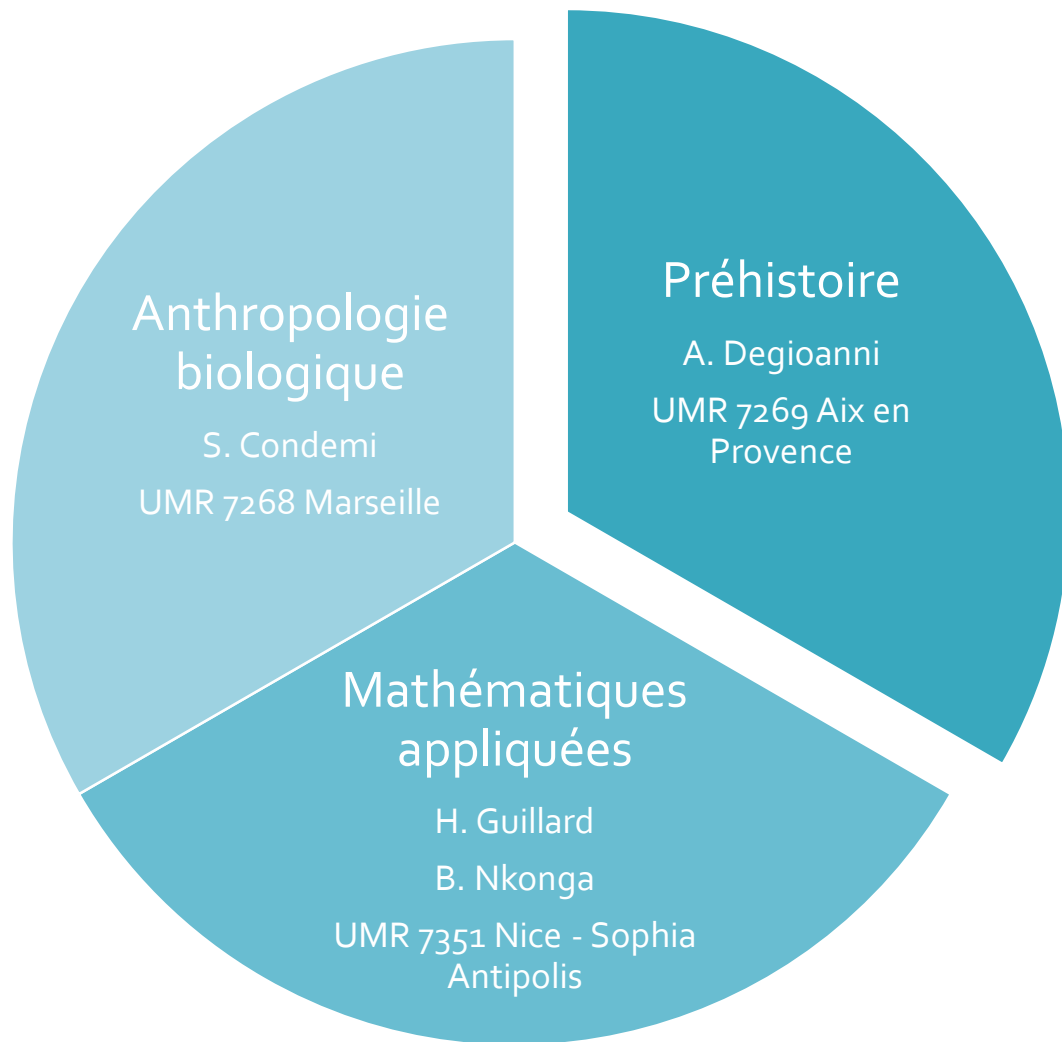
Modélisation mathématique de l'entrée de l'Homme moderne en Europe

Paris le 31 octobre 2018

		<p>Défi interdisciplinaire INFINITI</p>
	MI	
Mission pour l'Interdisciplinarité		projets 2018



Laboratoires participants

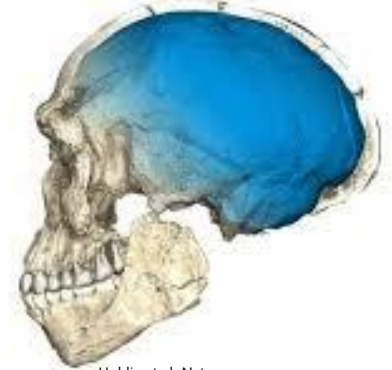
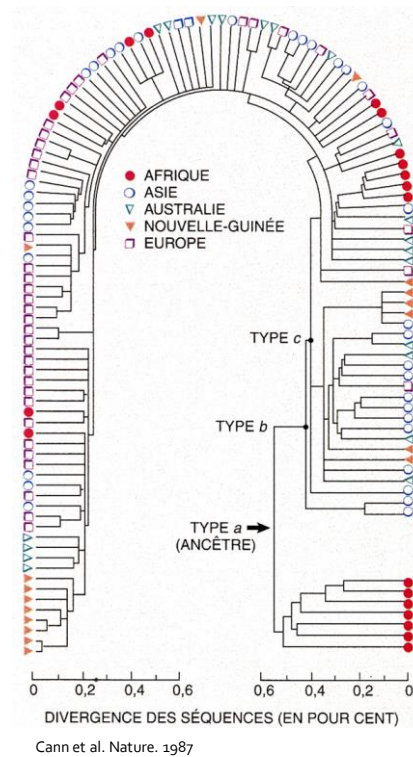


un stage Polytech Nice -Sophia Ingénieur Mathématique Appliquée et modélisation XU Zhenyu

L'Homme anatomique- ment moderne (*Homo Sapiens*)

Afrique

- dès environ - 300.000 ans *Homo sapiens archaïque*
- - 150.000 ans *Homo sapiens*



Hublin et al. Nature. 2017



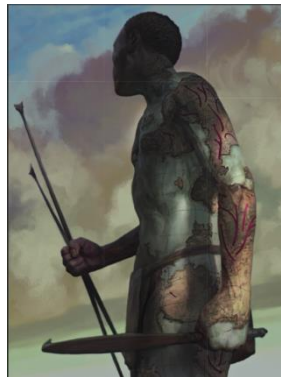
Photo © 2000 David L. Brill, Brill Atlanta

Migrations de l'Homme moderne

- SortieS d'Afrique à partir de - 120 000 ans



<https://genographic.nationalgeographic.com/human-journey/>



Jon Foster Scientific American 2015

L'Europe données archéologiques



Paul Blades <http://www.megalithic.co.uk/>

- Moustérien / Aurignacien



J.L. Monnier UMR6566



Claude Paris - Sipa



Pierre Magniez, LAMPEA

La grotte de Goat , Paviland

Problématique : entrée de l'Homme moderne en Europe

Questions

- Quand
- Comment
- Combien de temps

Apport de la modélisation

- Valider – infirmer
- Vraisemblance des hypothèses formulées par les archéologues

Modélisation mathématique en anthropologie biologique

MEASURING THE RATE OF SPREAD OF EARLY FARMING IN EUROPE

A. J. AMMERMAN

Institute of Archaeology, University of London

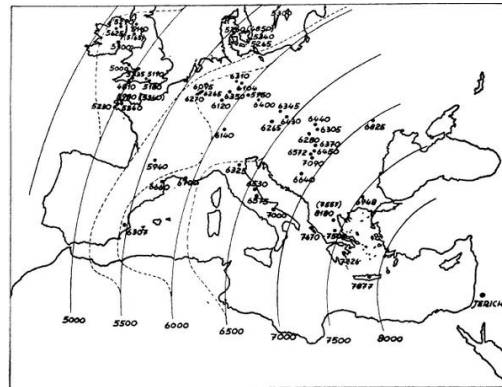
L. L. CAVALLI-SFORZA

University of Pavia

Man

New Series, Vol. 6, No. 4

(Dec., 1971), pp. 674-688 (15
pages)



- model Fisher ('37 génétique) =
- Skellman ('51 dynamique pop) =
- KPP- Kolmogorov, Petrovskii, Piskunov- ('37 mathématique)

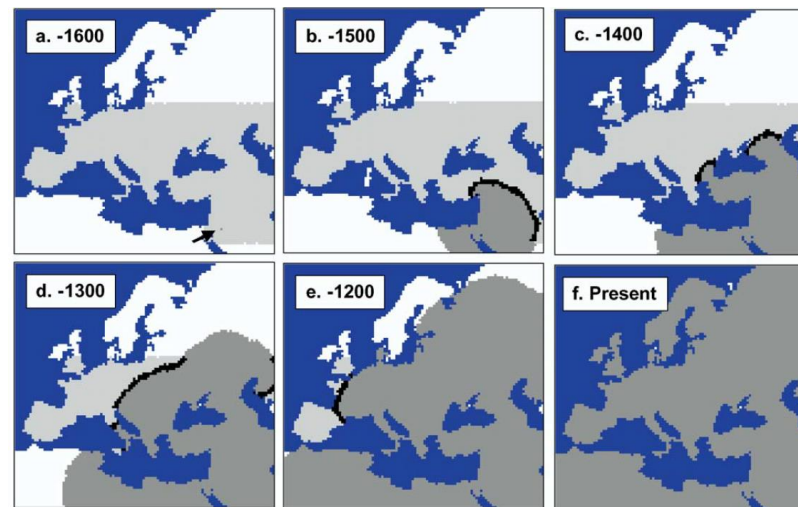
Modélisation de données génétiques

Modern Humans Did Not Admix with Neanderthals during Their Range Expansion into Europe

Mathias Currat^{1,2}, Laurent Excoffier^{1*}

PLoS Biology | www.plosbiology.org

December 2004 | Volume 2 | Issue 12 | e421



- Modèle de Lotka-Volterra
- Extension de KPP

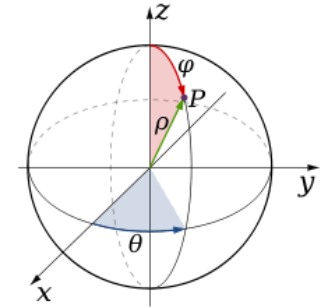
Nos objectifs

- Construction outil informatique utilisable par des anthropologues (archéologues)
 - Simple pour non spécialistes (en mathématiques appliquées)
 - Transposables à d'autres contextes (période, culture,...)
- Modèle spatialisé : le peuplement de l'Europe ne s'est pas réalisé de façon uniforme – couloir de migration, barrières géographiques,
- Contraintes géographiques, climatologiques et anthropologiques

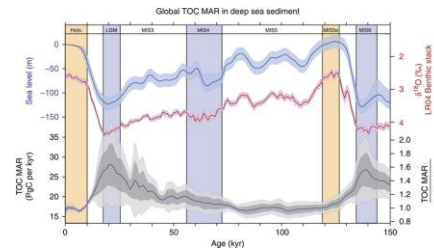
Contraintes géographiques et climatologiques



Equations formulées en coordonnées sphériques



$$\nabla \cdot \mathbf{F} = \frac{1}{a \cos \varphi} [\partial_{\theta} F_{\theta} + \partial_{\varphi} \cos \varphi F_{\varphi}]$$



Cartapanis et al. Nature Communications 2016



Contraintes anthropologiques



Jacques Malaterre, 2004

- Prise en compte du relief
- Prise en compte des cours d'eau



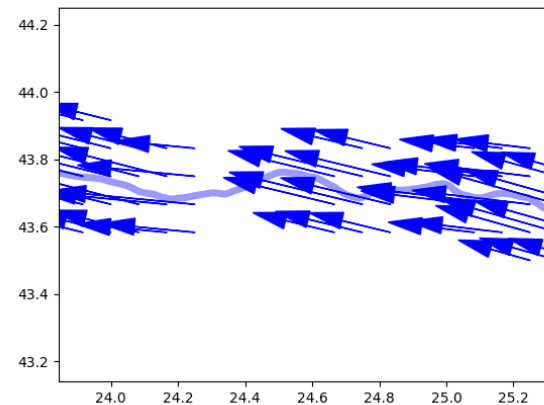
Contraintes d'efficacité

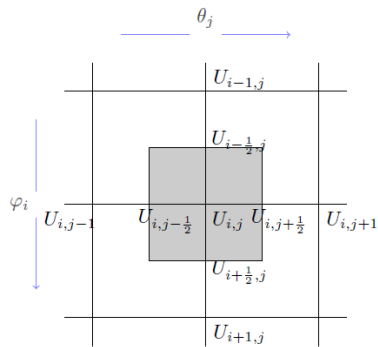
- Accès à des ressources de calcul importantes inhabituel
- Problème de processeur –espace de calcul
- Méthodes numériques doivent être efficaces : taille de maillage $1600 * 500 \Rightarrow$ choix des méthodes numériques
- Temps de calcul < un quart d'heure sur pc

Le modèle programmé actuellement

$$\underbrace{\partial_t n_s}_{\text{évolution}} + \underbrace{\nabla \cdot (\mathbf{u} n_s)}_{\text{advection}} = \underbrace{\nabla \cdot (\kappa \nabla n_s)}_{\text{random diffusion}} + \underbrace{\alpha n_s (1 - n_s / K_s)}_{\text{croissance logistique}}$$

- n_s densité (nb / km²)
- \mathbf{u} vitesse d'advection le long des grands cours d'eau
- κ coefficient de diffusion
- α croissance logistique, K capacité de soutien





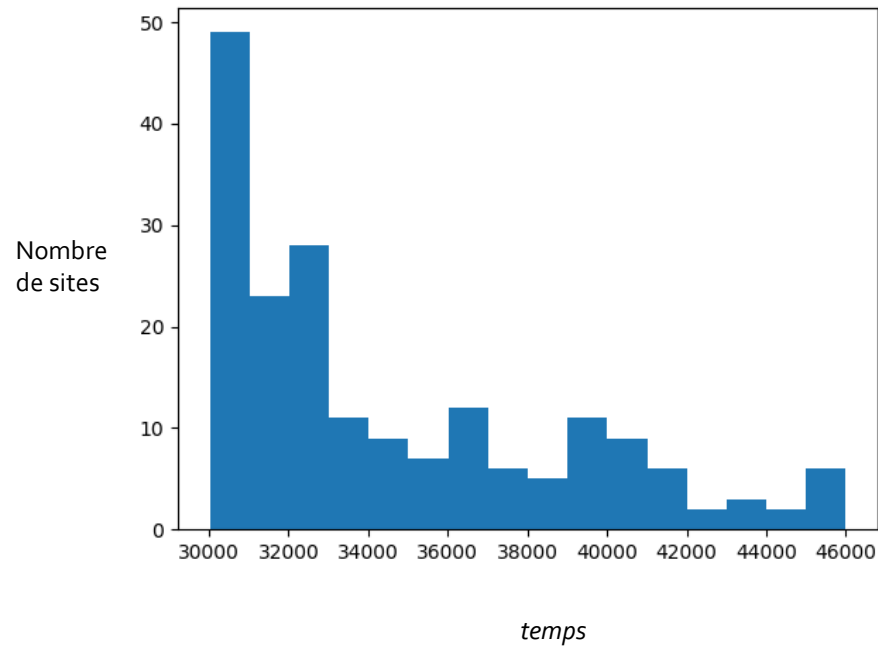
Notation

Discretisation et résolution

- Équation sous forme conservative en coordonnées sphériques
- Méthode de Volumes finis
- Advection et croissance logistique : **explicite**
- Diffusion : **implicite**
 - Système linéaire 2D à résoudre
 - Méthode ADI Système linéaire 1D =>> cout du calcul fortement réduit
- Etude de l'influence de la discrétisation sur la précision des résultats
 - $\delta\phi \delta\theta = 3$ minutes d'arc, maillage 1600×500
 - $\delta t = 5$ ans

Nos données en
cours
d'élaboration

- 190 sites avant -30 000 ans



Problèmes

- Contrainte des datations
- Les sites peuvent avoir disparus
- Les sites peuvent ne pas avoir encore été identifiés
- On ne peut travailler que avec ce que l'on a

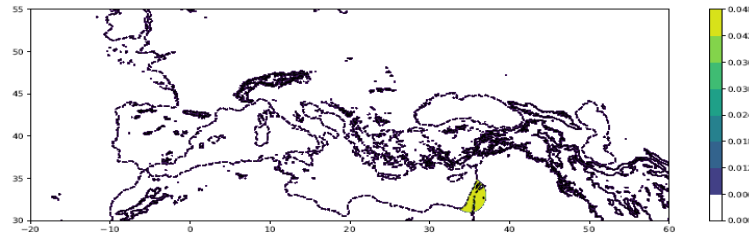
> si la modélisation propose une arrivée avant les dates existantes → ce n'est pas forcément faux

> si la modélisation propose une arrivée après les dates existantes → c'est forcément faux

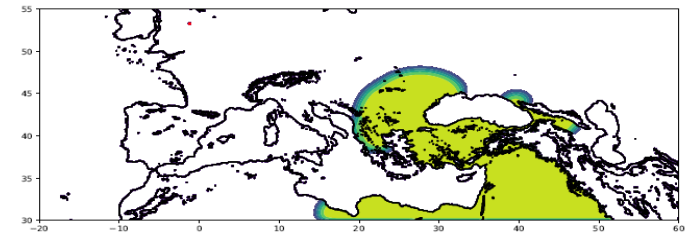
Etude d'un scenario particulier

contrainte=
arrivée en
Angleterre
compatible avec les
datations récentes
de T. Highman
(Nature 2014), sans
populations locales

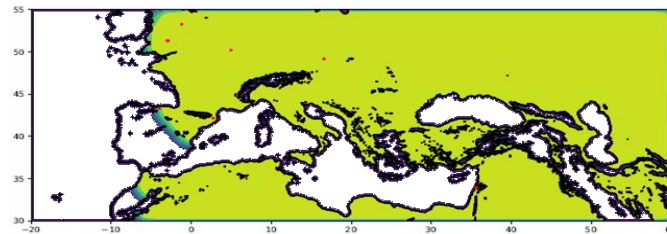
- Vitesse de 1km/an



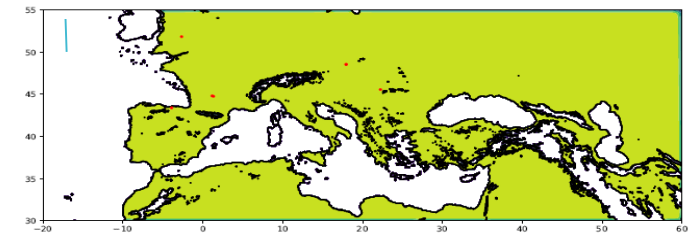
t=50000 BP



t=48000 BP



t=46000 BP

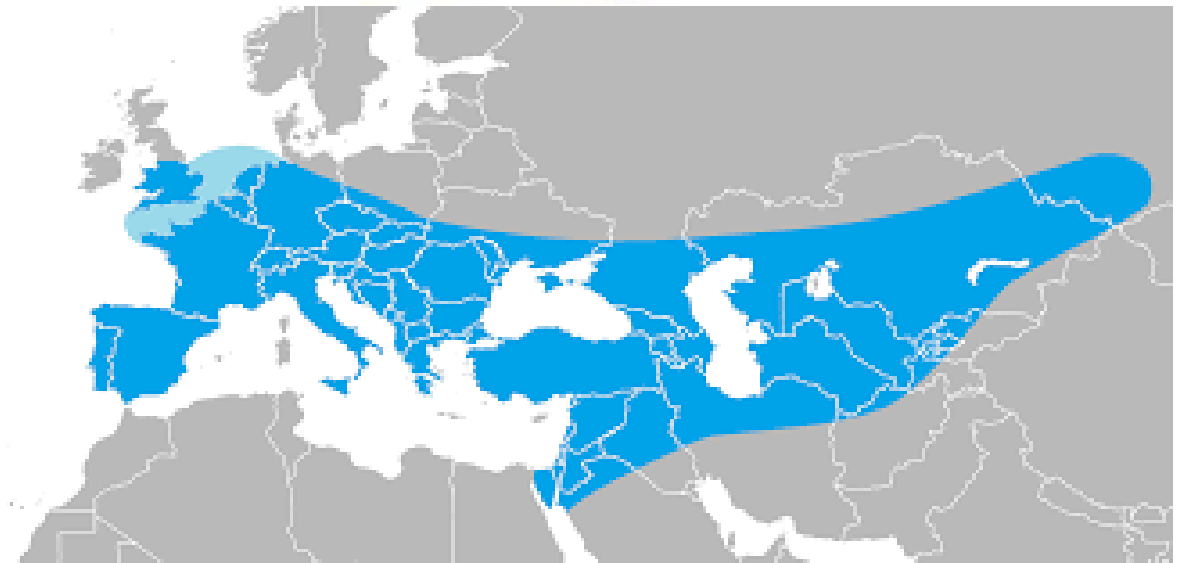


t=44000 BP

Neanderthal/ Homme moderne



© Benoît Clarys



Nilenbert www.wikimedia.org

La suitemodélisation avec Neanderthal

$$\underbrace{\partial_t n_s}_{\text{évolution}} + \underbrace{\nabla \cdot (\mathbf{u} n_s)}_{\text{advection}} = \underbrace{\nabla \cdot (\kappa_s \nabla n_s)}_{\text{random diffusion}} + \underbrace{\alpha_s n_s \left(1 - \frac{n_s - \gamma_{sn} n_n}{K_s}\right)}_{\text{croissance/compétition (LV)}} + \underbrace{A_{ns} n_n}_{\text{croisement}}$$

$$\underbrace{\partial_t n_n}_{\text{évolution}} = \underbrace{\nabla \cdot (\kappa_n \nabla n_n)}_{\text{random diffusion}} + \underbrace{\alpha_n n_n \left(1 - \frac{n_n - \gamma_{ns} n_s}{K_n}\right)}_{\text{croissance/compétition(LV)}} - \underbrace{A_{ns} n_n}_{\text{croisement}}$$

- Qgis logiciel SIG open source, grande communauté, aménagement du territoire = espace interministériel de l'information géographique
- => intégration de la modélisation dans un plugin pour Qgis
- Beaucoup de travail en perspective!!!!!!

